УДК 629.78

Морозов Л.В.

ФОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БУКСИРУЕМОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ ДИАПАЗОНА ВЫСОТ ПОЛЕТА НОСИТЕЛЯ

Гипотетический буксируемый летательный аппарат (БЛА) предполагается в ви- де тела вращения с конической поверхностью в хвостовой части с образующей l и уг- лом раскрытия конуса δ (рис. 1).

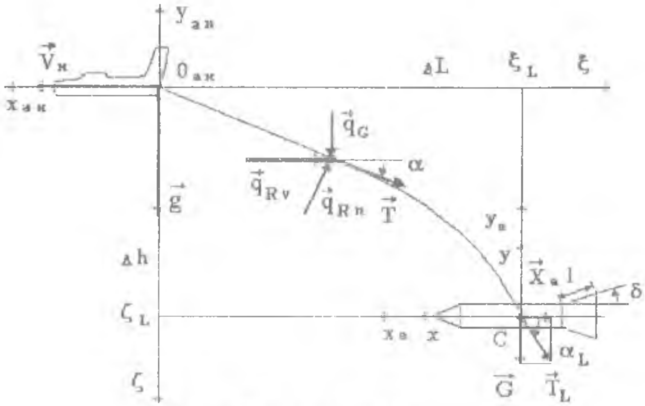

Рис. 1. Схема тросовой системы

Рассматривается крепление троса к аппарату в его центре масс на оси симмет- рии, при котором он стабилизируется в горизонтальном положении при любых скоро- стях и высотах полета носителя с совпадением осей связанной системы координат (СК) аппарата Cxy с соответствующими осями скоростной СК носителя $O_{ан}x_{ан}y_{ан}$ с образо- ванием плоской тросовой системы, содержащей вектор ускорения силы тяжести g. Ко- ординатами центра масс БЛА являются его продольное $\Delta L = -\xi_L$ и вертикальное $\Delta h = -\zeta_L$ смещения в скоростной СК носителя, определяемые координатами конца тро- са во вспомогательной СК $O_{ан}\xi\zeta$. Координаты ξ_L и ζ_L являются решением системы дифференциальных уравнений равновесного состояния троса под действием векторов распределенных нагрузок силы тяжести q_G, аэродинамических сил трения q_{Rt} и дав- ления q_{RN} и сосредоточенных сил тяжести аппарата G и лобового сопротивления X_a, образующих силу натяжения троса T_L под углом α_L к оси $O_{ан}\xi$ [1].

Ставится задача об определении минимальной массы аппарата m^*, образующей конуса l^* и программы угла $\delta^*(h_н)$, формируюших постоянную величину Δh_c вертикального смещения $\Delta h(h_н, m, l, \delta)$ в заданном диапазоне высот полета носителя $h_н \in [h_{н1}, h_{н2}]$ с постоянным числом Маха полета M_c.

Процедура определения минимальной массы аппарата m^* с переменными параметрами l и δ рассматривается без ограничений на массу аппарата и длину образующей и проводится в два этапа.

На первом этапе для наименьшей высоты $h_{н1}$ и номинальных значений l_0 и δ_0 определяется масса аппарата m_1 в результате решения трансцендентного уравнения:

$$m_1 = \underset{m}{arg}\{\Delta h(h_{н1}, m, l_0, \delta_0) - \Delta h_c = 0\}.$$

Затем для наибольшей высоты $h_{н2}$ определяется угол δ_1 из условия минимума модуля разности текущего вертикального смещения Δh и заданного Δh_c в результате решения задачи одномерной минимизации методом нулевого порядка [2]:

$$\delta_1 = arg \min_{\delta \in D} \Delta H(\delta),$$

$$\Delta H(\delta) = |\Delta h(h_{н2}, m_1, l_0, \delta) - \Delta h_c|,$$

$$D = \{\delta : \delta \in [\delta_0, \delta_к]\}, \qquad \Delta H_{min} = \Delta H(\delta_1).$$

При удовлетворении заданной точности: $\Delta H_{min} \le \varepsilon_н$ решением поставленной задачи являются параметры $m^* = m_1$, $l^* = l_0$ и программа угла $\delta^*(h_н) \in [\delta_0, \delta_1]$, $\delta^* \le \delta_к$.

Если заданная точность не достигается, то на втором этапе определяется длина образующей l_2 для наибольшего значения угла $\delta_к$ из условия минимума разности величин длины l_1 при наибольшей высоте $h_{н2}$ и длины $l \ge l_0$ при наименьшей высоте $h_{н1}$:

$$l_2 = arg \min_{l \ge l_0} \Delta L(l),$$

$$\Delta L(l) = |l_1 - l|, \qquad \Delta L_{min} = \Delta L(l_2),$$

$$l_1 = \underset{l \ge l_0}{\arg}\{\Delta h(h_{н2}, m_2, l, \delta_к) - \Delta h_c = 0\},$$

$$m_2 = \underset{m}{\arg}\{\Delta h(h_{н1}, m, l, \delta_0) - \Delta h_c = 0\}.$$

При удовлетворении заданной точности: $\Delta L_{\min} \leq \varepsilon_L$ решением поставленной за-дачи являются параметры $m^* = m_2$, $l^* = l_2$ и программа угла $\delta^*(h_{\text{н}}) \in [\delta_0, \delta_{\text{к}}]$, форми-руемая для полученных параметров аппарата:

$$\delta^*(h_{\text{н}}) = \arg_{\delta \in D}\left\{\Delta h\left(h_{\text{н}}, m^*, l^*, \delta\right) - \Delta h_c = 0\right\}.$$

При проведении численного моделирования принимались номинальные значения длины троса $L_{\text{тр}}$, его диаметра $d_{\text{тр}}$ и плотности материала $\rho_{\text{тр}}$, диапазона высот полета носителя, числа M_c, а также образующей l_0 и угла δ_0, определенных как минимальные из условия эффективного демпфирования колебаний относительно центра масс (табл. 1). В результате для заданного смещения $\Delta h_c = -26{,}9$ м получены значения параметров аппарата $m^* = 10{,}1$ кг и $l^* = 0{,}08$ м и соответствующие им программа угла $\delta^*(h_{\text{н}})$ (1 на рис. 2) и вертикальное смещение $\Delta h(\delta^*(h_{\text{н}}))$ (2 на рис. 2), заключенное между предельными $\Delta h_{\max}(\delta_{\text{к}})$ (3 на рис. 2), $\Delta h_{\min}(\delta_0)$ (4 на рис. 2) для постоянных углов раскрытия конуса.

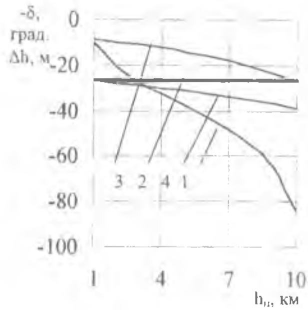

Рис. 2. Программа управления

Таблица 1 – Параметры тросовой системы углом раскрытия конуса

$L_{\text{тр}}$, м	$d_{\text{тр}}$, мм	$\rho_{\text{тр}}$, /см^3	$h_{\text{н}1}$, км	$h_{\text{н}2}$, км	M_c	l_0, м	δ_0, град.	$\delta_{\text{к}}$, град.
100	1,6	7,8	1	10	0,9	0,05	10	85

Библиографический список

1. Морозов Л.В. Условия гарантированной сходимости численного решения краевой задачи о равновесном состоянии гибкого троса воздушного буксира // Изв. вузов. Авиационная техника. 2003. № 3. С. 16-19.
2. Васильев Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач. М.: Наука, 1988.